

XÁC ĐỊNH TỐC ĐỘ TỐI ƯU CỦA BỘ CÔNG TÁC KHOAN KHI HẠ CỌC ỐNG THÉP VÀO NỀN SAN HỒ

DETERMINE THE OPTIMAL SPEED OF THE ROTARY PRESS-IN PILER
WHEN LOWERING STEEL PIPE INTO THE CORRAL FOUNDATION
PHAN THANH CẦU¹, BUI VĂN TRÀM*, PHẠM PHI LONG¹, NGUYỄN XUÂN HÒA²

¹Trường Sĩ quan Công binh;

²Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

*Email liên hệ: trambv@utt.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo trình bày phương pháp xác định tốc độ tối ưu của chuyển động xoay và dẫn tiến khi bộ công tác khoan hạ cọc ống thép vào nền san hô. Đầu tiên, xây dựng mô hình động lực học của bộ công tác khoan khi hạ cọc ống thép vào nền san hô, sau đó xác định tốc độ tối ưu của bộ công tác này khi công suất và mô men dẫn động biết trước sao cho chiều sâu hạ cọc đạt giá trị tối đa. Nội dung bài báo sử dụng lý thuyết cơ học hệ nhiều vật để xây dựng mô hình động lực học và nguyên lý cực đại Pontryagin, các phần mềm tính toán chuyên dùng để xác định giá trị tối ưu tốc độ chuyển động xoay - ép của bộ công tác khoan trong mỗi dải tốc độ khi hạ cọc ống thép vào nền san hô nhằm đạt năng suất cao nhất.

Từ khóa: Hạ chìm, nền san hô, khoan xoay.

Abstract

This paper represents a method to determine the optimal speed of the rotational and translational movement of the rotary press-in piler when lowering the steel pile into the coral foundation. The first, build a dynamic model of the rotary press-in piler when lowering the steel pile into the coral foundation, then determine the optimal speed of this driller when the power and torque driving this actuator are known in advance so that the depth of the pile reaches the maximum value. The content of this paper includes the use of theory of multibody systems to build the dynamic model, Pontryagin's maximum principle, and specialized software to find the reasonable speed of rotational-translational movement of this driller in each speed range when lowering the steel pile into the coral foundation to achieve the highest productivity.

Keywords: Lowering underground, steel pipe, coral foundation, rotary drilling.

1. Mở đầu

Xây dựng công trình biển đảo hiện nay là nhiệm vụ quan trọng hàng đầu trong chiến lược an ninh quốc phòng, giữ gìn biển đảo và toàn vẹn lãnh thổ của Việt Nam. Khi thi công các công trình biển, yêu cầu đặt ra với thiết bị là phải nhỏ gọn, có tính linh hoạt và cơ động cao, hoạt động an toàn, ổn định và hiệu quả, phù hợp với các thiết bị hiện có của đơn vị thi công trên đảo [5], [6]. Các phương pháp hạ cọc chủ yếu bao gồm: Phương pháp đóng cọc, phương pháp sử dụng búa rung, phương pháp đào trong và phương pháp xoay. Những phương pháp này được lựa chọn căn cứ trên các điều kiện địa chất, thi công, các điều kiện môi trường và khả năng chống chịu cần thiết nhưng không phù hợp với nền san hô ở quần đảo Trường Sa. Căn cứ trên các khảo sát thực tế, việc sử dụng bộ công tác xoay - ép hạ cọc ống thép là một giải pháp khả thi cho hệ móng cọc [3], [4], [7].

Thiết bị xoay-ép hạ cọc ống thép do nước ngoài chế tạo có tính năng hiện đại, thi công hiệu quả và năng suất cao, tuy nhiên sản phẩm chưa phổ biến ở Việt Nam do giá thành cao và khó đưa ra đảo vì kích thước lớn. Trong nước đã có một số nghiên cứu thiết kế, chế tạo bộ công tác xoay - ép hạ cọc ống thép tích hợp vào máy đào thủy lực phục vụ thi công trong điều kiện địa hình nền san hô trên đảo nhưng còn nhiều hạn chế, cần phải tiếp tục nghiên cứu hoàn thiện [1].

Việc nghiên cứu tối ưu các thông số làm việc của máy xây dựng nói chung và máy khoan nói riêng chưa được đề cập nhiều, đặc biệt việc xác định tốc độ tối ưu của bộ công tác khoan khi hạ cọc ống thép vào nền san hô nhằm hoàn thiện sản phẩm chế tạo trong nước thì chưa có nghiên cứu trong và ngoài nước nào thực hiện [1], [3], [8]. Với điều kiện máy khoan có công suất và mô men dẫn động bộ công tác cho trước, thỏa mãn các điều kiện về đường kính cọc ống thép, loại san hô, yêu cầu xác định tốc độ làm việc tối ưu của bộ công tác xoay - ép cọc nhằm đạt năng suất cao nhất trong dải vận tốc dẫn tiến và tốc độ xoay cọc ống thép. Để giải bài toán này cần sử dụng nguyên lý cực đại Pontryagin, đây là nghiên cứu có ý nghĩa thực tiễn và

Từ mô hình động lực học (Hình 2), với các điều kiện thi công cho trước, ta có hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động của cơ hệ như sau:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + c_1 \dot{x}_1 - c_1 \dot{x}_2 + k_1 x_1 - k_1 x_2 = N_t \\ J_1 \ddot{\phi}_1 + k_{2r} \dot{\phi}_1 - k_{2r} \dot{\phi}_2 + c_{2r} \phi_1 - c_{2r} \phi_2 = M_t \\ m_2 \ddot{x}_2 - c_1 \dot{x}_1 + c_1 \dot{x}_2 - k_1 x_1 + k_1 x_2 = -N_{ci} \\ J_2 \ddot{\phi}_2 - k_{2r} \dot{\phi}_1 + k_{2r} \dot{\phi}_2 - c_{2r} \phi_1 + c_{2r} \phi_2 = -M_{ci} \end{cases} \quad (1)$$

3.2. Phát biểu bài toán

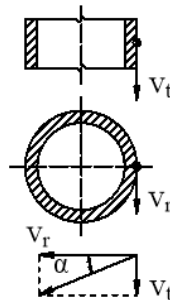
Để xác định tốc độ làm việc tối ưu của chuyển động dẫn tiến (v_t) và xoay cọc ống thép (n) thì bài toán được phát biểu như sau:

Xác định giá trị tốc độ dẫn tiến (v_t) và giá trị vận tốc xoay cọc ống thép (n) tối ưu của bộ công tác xoay - ép hạ cọc ống thép sao cho chiều sâu hạ cọc $x_2(T) = f(u, v_t, n)$ đạt giá trị tối đa khi cho trước các đường kính cọc ống thép $D = 300\text{mm}$, môi trường đá san hô có $\gamma = 2500\text{kg/m}^3$ tại Trường Sa, với công suất và mô men dẫn động bộ công tác cho trước, thỏa mãn các điều kiện về đường kính cọc ống thép, loại san hô và công suất của động cơ, đảm bảo năng suất cao nhất.

Để giải bài toán xác định thông số làm việc tối ưu bài báo sử dụng nguyên lý cực đại **Pontryagin**.

Từ hệ phương trình vi phân (1) mô tả chuyển động của cơ hệ, chiều sâu hạ cọc ống thép phụ thuộc rất nhiều yếu tố, hàm là đa biến, trong bài toán xác định thông số làm việc tối ưu của chuyển động xoay và chuyển động dẫn tiến có hai biến, được biểu diễn như sau: $x_2(T) \rightarrow \max$ (chiều sâu đạt max) với T thời gian xoay - ép chưa biết.

Thông số điều khiển: $u = \alpha$ với α là góc giữa vận tốc trượt và vận tốc dài theo phương nằm ngang [9].



Hình 3. Đại lượng α

$$\tan \alpha = \frac{v_t}{v_r}; n = \frac{60v_t}{D\pi \tan \alpha}; \alpha = 0^\circ \div 90^\circ \quad (2)$$

v_r - Vận tốc dài trong mặt phẳng nằm ngang, (m/s);

v_t - Vận tốc hạ cọc theo phương thẳng đứng, (m/s);

n - Vận tốc xoay ống thép, (vòng/phút)

- Điều kiện biên: Tại $t = T$ thì $\dot{x}_2(T) = 0$

- Điều kiện đầu: Tại $t = 0$ thì:

$$x_1(0) = 0, x_2(0) = 0$$

$$\phi_1(0) = 0, \phi_2(0) = 0$$

$$\dot{x}_1(0) = 0, \dot{x}_2(0) = 0$$

$$\dot{\phi}_1(0) = 0, \dot{\phi}_2(0) = \omega_0$$

(3)

- Điều kiện ràng buộc:

$$\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max} \quad (4)$$

- Điều kiện dừng:

$$\dot{x}_2(T) = 0 \quad (5)$$

3.3. Thuật toán giải

Sử dụng lý thuyết điều khiển tối ưu, áp dụng nguyên lý cực đại Pontryagin, các bước được thực hiện theo [2], [8].

Bước 1: Biểu diễn hàm mục tiêu dưới dạng phiếm hàm:

$$J = \int_0^T \dot{x}_2 dt = \int_0^T \dot{x}_2 T d\tau = \int_0^T (T \dot{x}_2) d\tau \quad (6)$$

Bước 2: Lập phương trình trạng thái theo biến

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{t}{T} \\ y'_1 &= \frac{dy_1}{d\tau} = y_5 &= f_1 \\ y'_2 &= \frac{dy_2}{d\tau} = y_6 &= f_2 \\ y'_3 &= \frac{dy_3}{d\tau} = y_7 &= f_3 \\ y'_4 &= \frac{dy_4}{d\tau} = y_8 &= f_4 \\ y'_5 &= \frac{d^2 x_1}{d\tau^2} = T^2 \ddot{x}_1 = \frac{T^2}{m_1} (N_t - c_1 y_5 + c_1 y_7 - k_1 y_1 + k_1 y_3) &= f_5 \\ y'_6 &= \frac{d^2 \phi_1}{d\tau^2} = T^2 \ddot{\phi}_1 = \frac{T^2}{J_1} (M_t - k_{2r} y_6 + k_{2r} y_8 - c_{2r} y_2 + c_{2r} y_4) &= f_6 \\ y'_7 &= \frac{d^2 x_2}{d\tau^2} = T^2 \ddot{x}_2 = \frac{T^2}{m_2} (-N_c + c_1 y_5 - c_1 y_7 + k_1 y_1 - k_1 y_3) &= f_7 \\ y'_8 &= \frac{d^2 \phi_2}{d\tau^2} = T^2 \ddot{\phi}_2 = \frac{T^2}{J_2} (-M_c + k_{2r} y_6 - k_{2r} y_8 + c_{2r} y_2 - c_{2r} y_4) &= f_8 \end{aligned} \quad (7)$$

Bước 3: Lập hàm Hamilton bằng cách đưa vào thêm 8 biến liên hợp:

$$H = T \dot{x}_2 + \sum_{i=1}^8 p_i f_i = \frac{dx_2}{d\tau} + \sum_{i=1}^8 p_i f_i = y_7 + p_1 f_1 + p_2 f_2 + p_3 f_3 + p_4 f_4 + p_5 f_5 + p_6 f_6 + p_7 f_7 + p_8 f_8 \quad (8)$$

Bước 4: Xác định biến điều khiển tối ưu:

Điều kiện cần để hàm Hamilton đạt cực đại theo $u^* = \alpha^*$ là:

$$\frac{\partial H}{\partial \alpha} = 0 \quad (9)$$

Từ (9) ta thu được α^* theo y và p . Với y là biến trạng thái, và p là biến liên hợp.

Bước 5: Thay α^* là hàm của y và p vào phương trình trạng thái và phương trình liên hợp:

$$p'_i = \frac{dp_i}{d\tau} = -\frac{\partial H}{\partial y_i} \quad (i = 1, 2, \dots, 8) \quad (10)$$

Bước 6: Giải hệ hỗn hợp $8 + 8 + 1 = 17$ phương trình vi phân:

$$\begin{cases} y'_i = f_i & (i = \overline{1, 8}) \\ p'_i = -\frac{\partial H}{\partial y_i} & (i = \overline{1, 8}) \\ T' = \frac{dT}{d\tau} = 0 \\ 0 \leq \tau \leq 1 \end{cases} \quad (11)$$

Với điều kiện đầu: $y_i(0)$ ($i = \overline{1, 7}$) đã biết (chú ý $y_8(0)$ chưa biết do T chưa biết) $\Rightarrow 7$ điều kiện đầu.

- Từ điều kiện dừng $\dot{x}_2(T) = 0$, ta có điều kiện dừng theo biến mới là $y_7(1) = 0$

- Điều kiện biên của biến liên hợp $p_i(1) = 0$

Giải hệ hỗn hợp 17 phương trình vi phân, ta thu được thông số tối ưu y^* và thời gian T^* .

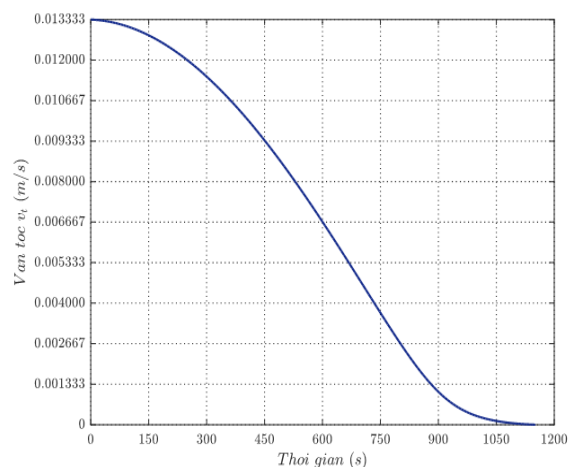
Tốc độ dẫn tiến và tốc độ xoay cọc tối ưu:

$$\begin{cases} v_t^* = \frac{1}{T^*} y_7^* \\ n^* = \frac{1}{T^*} y_8^* \end{cases} \quad (12)$$

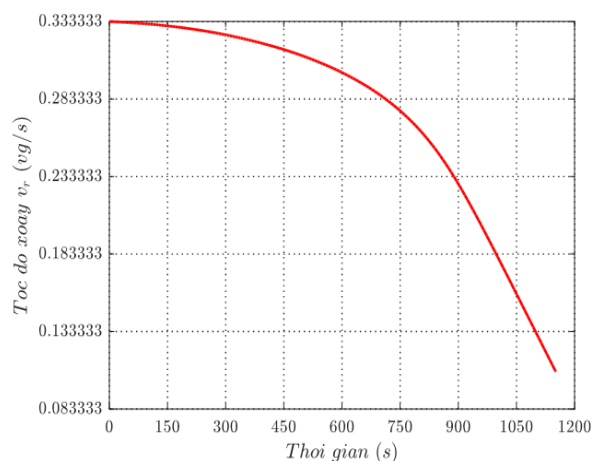
- Sơ đồ thuật toán giải hệ phương trình (Hình 4).



Hình 4. Sơ đồ thuật toán giải bài toán xác định thông số làm việc tối ưu



Hình 5. Đồ thị vận tốc dẫn tiến biến thiên theo thời gian



Hình 6. Đồ thị tốc độ xoay biến thiên theo thời gian

4. Kết quả khảo sát xác định chuyển động tối ưu vận tốc dẫn tiến và vận tốc xoay hạ cọc ống thép vào nền san hô

Dẫn động xoay cọc ống thép là động cơ thủy lực Solar 200W-V (Travel Motor 200W-V), dẫn động dẫn tiến cọc ống thép là loại động cơ thủy lực Solar 130W-V (Travel Motor 130W-V).

Điều kiện khảo sát các giá trị vận tốc chuyển động của cọc thép được giới hạn bởi hai động cơ dẫn động trong khoảng: Vận tốc dẫn tiến $v_t = 0,10 \div 0,80$ (m/ph) ta có vùng thay đổi $v_t = 0,00167 \div 0,01334$ (m/s). Tốc độ xoay cọc n từ $5 \div 20$ (vòng/phút) ta có vùng thay đổi của v_r là $0,0785 \div 0,314$ (m/s). Như vậy ta có thể thấy rằng giá trị tỷ số vận tốc $\tan \alpha$ có thể thay đổi từ $0,0425 = 0,8 / (0,314 \cdot 60)$ đến $0,0212 = 0,1 / (0,0785 \cdot 60)$.

Tính toán các thông số tối ưu với các tham số sau:

- Vận tốc dẫn tiến nhỏ nhất $v_t = 0,1$ m/phút;
- Tốc độ xoay ống thép nhỏ nhất $n = 5$ vòng/phút.

Tốc độ xoay cọc n từ $5 \div 20$ (vòng/phút) ta có vùng thay đổi của v_r là $0,0785 \div 0,314$ (m/s).

- Đường kính cọc ống thép $D = 300$ mm, chiều dài mỗi đoạn cọc $l = 3000$ mm.

- Tính chất cơ lý của nền đá san hô theo tài liệu [4],[5],[6],[7].

Sử dụng phần mềm Maple giải hệ phương trình hỗn hợp (11) xác định các thông số tối ưu của hệ phương trình (12), ta nhận được kết quả như đồ thị trên Hình 5 và Hình 6.

Đồ thị Hình 5 và Hình 6 thể hiện dải vận tốc dẫn tiến và dải tốc độ xoay cọc ống thép theo thời gian, khi lực cản tác dụng lên ống thép lớn hơn công suất định mức của động cơ dẫn tiến cọc, khi đó chiều sâu hạ cọc đạt tối đa, cọc sẽ dừng lại. Phần mềm tính toán đã đưa ra Bảng 1, đó là dải thông số vận tốc xoay và

vận tốc dẫn tiến làm việc tối ưu của cọc ống thép ứng với góc tương ứng.

Bảng 1. Chế độ làm việc tối ưu của bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép trên nền đá san hô ($D=300$ mm)

TT	α (độ)	n (v/ph)	v_t (m/ph)
1	2,43417582	0,33333333	0,01333333
2	2,42202981	0,33259382	0,01323737
3	2,38922615	0,33143955	0,01301276
4	2,33593613	0,32985869	0,01266184
5	2,26247358	0,32783081	0,01218825
6	2,16929219	0,32532517	0,01159695
7	2,05698244	0,32229800	0,01089422
8	1,92626928	0,31868817	0,01008767
9	1,77801346	0,31441038	0,00918628
10	1,61322280	0,30934422	0,00820057
11	1,43308906	0,30331599	0,00714293
12	1,23908976	0,29606765	0,00602839
13	1,03326252	0,28720298	0,00487649
14	0,81895654	0,27609726	0,00371561
15	0,60288159	0,26178436	0,00259348
16	0,39968232	0,24304944	0,00159631
17	0,23420945	0,21945336	0,00084460
18	0,12334634	0,19256478	0,00039031
19	0,05850480	0,16440957	0,00015806
20	0,02187550	0,13593050	0,00004886
21	0	0,33333333	0,01333333

5. Kết luận

Bài báo đã thiết lập bài toán xác định tốc độ xoay, tốc độ dẫn tiến hạ cọc ống thép vào nền san hô. Tiến hành khảo sát xác định tốc độ xoay và tốc độ dẫn tiến, kết quả khảo sát dải vận tốc xoay và vận tốc dẫn tiến tối ưu thể hiện trong Bảng 1, ta thấy rằng ứng với mỗi góc ta nhận được tốc độ xoay và tốc độ dẫn tiến tối ưu khi hạ cọc ống thép vào nền san hô. Từ kết quả khảo sát lựa chọn được chế độ làm việc hợp lý cho thiết bị khoan xoay hạ cọc với chi phí năng lượng riêng nhỏ nhất đó là hướng phát triển tiếp theo của bài báo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Phan Thanh Cầu (2020), *Nghiên cứu khả năng hạ cọc ống thép trên nền san hô tại đảo trường sa của bộ công tác kiểu xoay-ép lắp trên máy đào thủy lực*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật - Học viện Kỹ thuật Quân sự.
- [2] Nguyễn Doãn Phước (2016), *Tối ưu hóa trong điều khiển và điều khiển tối ưu*, NXB Bách khoa Hà Nội.
- [3] Phạm Văn Minh, Nguyễn Tiến Nam, Phạm Quang Dũng, (2017), *Xây dựng phương pháp xác định*

- lực cản công tác của thiết bị hạ ống vách thép thi công cọc nhồi bằng phương pháp ép - xoay. Tạp chí Khoa học Công nghệ xây dựng, Tập 11, Số 4, tr.145-148.*
- [4] Nguyễn Quý Đạt, Đỗ Minh Toàn (2013), *Đặc điểm địa tầng và tính chất cơ lý của các trầm tích san hô trên một số đảo thuộc Quần đảo Trường Sa. Đề xuất các giải pháp nền móng cho các dạng công trình xây dựng*, Hội nghị Khoa học kỷ niệm 50 năm ngày thành lập Viện KHCN Xây dựng.
- [5] Nguyễn Tương Lai (2012), *Điều tra khảo sát và nghiên cứu về ma sát giữa cọc và nền san hô trên các đảo thuộc quần đảo Trường Sa. Báo cáo khoa học chuyên đề dự án nhánh ĐTB 11.3, quyển III.3. Dự án “Điều tra cơ bản, nghiên cứu xây dựng cơ sở quan trắc và công nghệ xử lý các yếu tố tự nhiên tác động lên công trình ở các vùng biển phục vụ các nhiệm vụ kinh tế kỹ thuật và tăng cường an ninh quốc phòng trên biển và thềm lục địa Việt Nam”*. Bộ Tư lệnh Công Binh.
- [6] Nguyễn Tương Lai (2018), *Nghiên cứu ma sát giữa móng cọc với nền san hô và dự báo sự ổn định của công trình dưới tác động của sóng biển. Báo cáo tổng hợp kết quả đề tài ĐTDL-CN.17/15*
- [7] Hoàng Xuân Lượng (2010), *Nghiên cứu các chỉ tiêu kỹ thuật của nền san hô và tương tác giữa kết cấu công trình và nền san hô. Báo cáo tổng hợp kết quả đề tài KC.09.07/06-10.*
- [8] Nguyễn Nhật Lệ, Nguyễn Văn Quyền (2018), *Giải bài toán Tối ưu hóa và Điều khiển tối ưu*, Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam.
- [9] Viking K., (1998), *Driveability studies of vibro-driven model piles in non-cohesive soils - laboratory simulations*, Soil and Rock Mechanics, pp.113-118.

Ngày nhận bài:	31/12/2022
Ngày nhận bản sửa:	12/01/2023
Ngày duyệt đăng:	09/02/2023